

# 机 械 原 理

黄兵明 主编

北京银冠电子有限公司

# 目 录

课程介绍.....	1
学习方法.....	2
第十二届全国机构学学术研讨会 在福州召开.....	3
《机械原理》必修内容和要求.....	6
第一章 概论 .....	1 1
第二章 机构的结构分析 .....	1 3
第三章 平面机构的运动分析 .....	1 5
第四章 机构的力分析.....	1 9
第五章 机构的型综合 .....	2 2
第六章 平面连杆机构(1) .....	2 3
多自由度多环空间机构学的理论研究.....	3 9

## 课程介绍

机械原理及机械设计是一门在基础课与专业课之间起着桥梁作用的专业基础课。它比物理、数学、力学更接近于工程实际，但又不同于各专业课。它主要研究各种机械所具有的共性问题，而专业课则研究某一机械的特殊问题。通过该门课程机械基础知识的学习，可使学生掌握机构和机器的分析方法进而了解机械的性能，更合理地使用机械，并掌握机构和机器的设计方法进行机械综合设计和创新设计。从进入这门课开始，学生就从单一学科（或单一技术为主体）的课程学习过渡到综合运用多种学科（或多门技术）并考虑多方面因素以解决机械工程问题为主的课程学习，它是逐步实现向“工程综合”及工程应用实践转变的机械类各专业十分重要的主干技术基础课。机械原理部分主要研究分析机构的运动学、动力学问题及机械系统的方案设计问题；机械设计部分主要研究以一般通用零件的设计为核心的设计性问题，并论述它们的基本设计理论与设计方法。总之，该门课是为了培养综合设计能力和工程实践能力打下坚实的、关键性的、必不可少的基础。

鉴于本门课的性质、所以在教学过程中，要注重实验教学和工程设计训练，以培养学生综合运用所学

的理论方法和知识去分析，解决工程实际问题的能力。

本课程使用“多媒体”手段教学、信息量大，并且动、静结合，比较直观，使学生看起来简单易懂。

本门课的先修课程，有高数、物理、力学、机械制图、工程材料及热处理互换性与技术测量等。要很好的运用已学的先修课程，在平时的学习中，联系实际、举一反三、勤于动脑、动手是学好本门课的唯一方法。

## 学习方法

本课程是一门与工程实际密切相关的课程。所以，学习该课程时要注意理论联系实际，要注意观察、分析和比较现实生活中各种各样构思巧妙和设计新颖的机构。综合运用先修课程中所学的相关知识技能，结合各个教学实践环节，进行机械工程技术人员的基本训练，逐步提高自己的理论水平，构思能力，工业洞察力和判断力，特别是不断增殖的汲取、融会和分析问题及解决问题的能力，为顺利过渡到专业课程的学习及进行专业产品和设备的设计打下宽而坚实的基础。本课程运用多媒体电子教材，它通过人机交互方式，为学生创造一种轻松、活泼、自主学习的环境，从而培养学生的形象思维能力、创新能力，

提高教学质量和教学效果。

## 第十二届全国机构学学术研讨会在福州召开

第十二届全国机构学学术研讨会于 2000 年 11 月 4 日~8 日在福州市召开。来自全国 40 余所高校和部分企业的 70 多位代表出席了本届会议。发表论文总计 78 篇,到会宣读论文 50 篇。内容涉及机械产品创新、连杆机构、齿轮凸轮机构、机器人、机械动力学、机构应用及教学等六大方面,既有机构学基本理论的研究新成果,也有新产品新装置的介绍。

机构传动分会常务副主任委员吴晓铃同志专程到会指导工作,并宣读机械传动分会关于新一届机构学专业委员会组成人员名单的聘任函。

会议由谢存禧副主任委员主持。邹慧君主任委员首先致开幕词,认为在我国即将加入 WTO 之际,必须将机构学与机械产品创新设计紧密结合起来。德高望重的张启先院士作了简短的致辞,认为机构学发展大有希望。希望通过本次会议把我国机构学发展得更好,并为新技术发展提供动力,搞好我国机械工业。

开幕式之后,张启先院士首先作大会报告“谈谈机构学的发展和应 用 棗 扬 弃 传 统 机 构 学 , 发 展 现 代 机 构 学 ” 高 屋 建 瓴 地 阐 述 了 机 构 学 的 发 展 方 向 。 机 构 学

的总趋势是：传统机构学中的一部分不适应时代发展要求的内容呈“夕阳”萎缩状态，而引入光、电、控制等新技术形成的现代机构学大为发展，一派“朝阳”兴盛的景象。我们要扬弃传统机构学。以“应用需求牵引，引入高新技术，学科交叉，努力创新”为指导思想来发展现代机构学。选择当前和未来应用领域深入开展偏重机构学的跨学科研究，大力发展适应知识经济新时代的现代机构学。黄真副主任委员在大会报告中，首先详细介绍了两个国际会议“国际设计工程技术会议及工程中的信息和计算机会议”和“纪念Ball著作发表一百周年会议”的情况，之后以“不断创新迎接二十一世纪的挑战 我们在并联机器人机构学研究上的学术成绩”为题细致介绍了在并联机器人领域所做的创造性的研究工作和研究过程中的经验与心得，并对后来者提出了殷切的希望。邹慧君主任委员作了题为“面向二十一世纪机构学发展展望”的大会报告。提出面向二十一世纪的机构学将会在方案创新设计理论、方法及其智能化，现代机构类型综合和设计方法，微机构和微动机构的研究和应用，机器人机构的深入研究和应用，传统机构分析和综合方法的深入研究以及机构分析综合的商品化软件开发，机械动力学及动力性能测试等领域内获得更加活跃

的、更加广泛的研究。认为机构学的发展变化将是没有穷尽的。赵匀教授以“机构动力学和机构创新研究”为题，深入介绍了驱动力、非定向摩擦力和矩、动力学方程求解方法、机构综合与动力学分析关系、机构创新等成果。对于插秧机的研制，赵教授指出插秧机开发其核心力技术难题实质上是机构学问题。只有从机构学的理论高度出发，才能从根本上解决产品的创新问题。

在分组会议中，首先就大会报告进行了热烈的讨论，取得了共识。与会者一致认为，机构学不会消亡，但机构学必须以时代需要为背景进行发展。机构学的发展必须深入实际，与国家建设紧密结合，与企业需要紧密结合，与时代特征紧密结合。机构学的研究只有在与实际需要紧密结合的前提下才会大发展，而且肯定会大发展。机构学者的深入研究和企业生产实际的广泛参与是机构学健康发展的两个基本条件。在分组讨论中，与会者宣讲了各自的论文，展开了热烈的交流。本次会议在产品创新设计、广义机构、自适应机构、空间机构微小化设计、两自由度五杆机构、四杆机构综合、凸轮 CAD/CAM 电子凸轮、对称结构 Stewart 平台机器人的位置正解、虚轴机床、机器人工作空间、机器人快速成型、弹性连杆机构动平衡和

振动主动控制、受控五杆机构动力学轨迹综合等理论研究，稀土旋孔机、托网绞机、内燃机配气机构、三叶外圆弧转子罗茨鼓风机、汽车转向泵定子叶片机构、直线与筒形减速器、脉动式无级变速器、盘式制动器、外科手术机构臂、糖果包装机折纸机构、旋转式伽玛刀、新型切丝机、连杆式自动定心装置等产品设计研究，机构原理教学的思维方法、机构仿真分析软件等多方面取得了新的成就。

新一届机构学专业委员会举行了工作会议。决定下一届会议由浙江工程学院承办。

会议期间还有广州大学、浙江工程学院、河北工业大学、哈尔滨工业大学对各自的软件、产品、CAI教学、研究作了介绍，引起与会人员的浓厚兴趣。

## **《机械原理》必修内容和要求**

[ 作者：佚名 转贴自：本站原创 点击数：445 文章录入：admin ]

### 一. 绪论

构件、机构、机器、机械；

什么是机构分析、机构综合（结构、尺度、动力综合）？机构的尺度综合分为哪些类型？

什么是机构综合的准点法及其结构误差？减小结构误差的有效途径是什么？

## 二. 机构的结构分析

运动副、运动链、机构；

如何对运动副进行分类？

机构的自由度、机构具有确定运动的条件、局部自由度、复合铰链、虚约束；

杆组、机构及其分类的方法。

高副低代及其条件、方法。

## 三. 平面机构的运动分析

II 级机构的运动分析: 画出矢量多边形? 列出矢量方程? 写出坐标方程? 对时间求导得速度、加速度方程? 能用坐标转动法求角速度、角加速度。

速度瞬心: 定义、相对瞬心、绝对瞬心、三心定理; 应用。

## 四. 机构的力分析

机构的力分析的目的、什么是平衡力、力分析的静定条件、摩擦角、摩擦圆的概念；

能对 II 级组熟练地写出力平衡方程及其对应的矩阵式；能对简单受力的机构进行力分析求解；

什么是机械效率、写出其表达式；什么是机械自锁、写出其表达式；对简单受力的机构能计算其机械效率、分析其机械自锁。

## 五. 机构的型综合

能根据运动链代号画出其结构图或根据运动链结构图写出其代号；确定运动链各类连杆、计算其机构的自由度；能由运动链变换机构。

#### 六. 平面连杆机构

有曲柄条件、低副运动的可逆性、压力角、传动角、极位夹角、行程速比系数；

位移矩阵？平动矩阵、转动矩阵； $[QJ]=[D][Q1]$ 的意义；用位移矩阵法求转动构件和移动构件运动副坐标时各采用什么约束条件？

机构综合的代数式法：能理解、运用公式对简单机构进行设计。

#### 七. 优化方法及机构优化设计

目标函数、设计变量、约束条件、设计点、设计空间、最优点、最优值、最优解、可行区、数学模型等概念；搜索迭代的一般格式，复合形法或随机法的搜索方向的计算方法；

能根据机构的简单设计要求写出优化设计的数学模型表达式。

#### 八. 凸轮机构

什么是凸轮机构？按从动件型式、凸轮的形状如何对凸轮机构进行分类？

凸轮机构从动件的常用运动规律中的等速、等加

速等减速、正弦加速、余弦加速等运动规律的动力性能各有什么特点？

能根据公式计算凸轮实际廓线上点的坐标值。能根据公式分析压力角、基圆半径、偏距方位间的关系；如何建立平底从动件凸轮机构的凸轮廓线点的坐标方程及平底尺寸的计算式。

### 九. 直齿圆柱齿轮机构

渐开线的形成、特性及渐开线方程；什么是分度圆、节圆？齿轮传动的节点有什么运动特性？什么是压力角、啮合角？能写出齿顶高和齿根高的一般计算公式，并解释其中各符号的意义及计算方法（9-21、9-22）。

什么是齿廓啮合基本定律？什么是齿轮传动的可分性、重合度？

什么是标准齿轮、正变位齿轮、负变位齿轮、零变位非标准齿轮？什么是正传动、负传动、等变位齿轮传动？它们的啮合参数各有什么特点？

什么是齿轮的根切？什么是最少齿数、最小变位系数？判断齿轮是否根切的条件是什么？

能根据给出的公式计算齿轮的几何尺寸，进行齿轮传动设计。

### 十. 其它齿轮机传动

斜齿圆柱齿轮的哪个面的参数为标准参数？斜齿圆柱齿轮传动的哪个面的计算公式与直齿圆柱齿轮传动相当？斜齿与直齿圆柱齿轮传动比较有什么优缺点？什么是斜齿圆柱齿轮的当量齿轮、当量齿数？

蜗轮蜗杆传动的传动特点是什么？什么是蜗轮蜗杆传动的主截面，其齿形有什么特点？设计蜗轮蜗杆的尺寸时为什么要提出蜗杆直径系数？圆锥齿轮传动用于何种运动传递？什么是圆锥齿轮的背锥、当量齿轮、当量齿数？

### 十一. 齿轮系

什么是平面定轴轮系、空间定轴轮系、周转轮系、行星轮系、差动轮系、复合轮系？什么是周转轮系的转化机构？如何列出转化机构的速比公式、其速比特性是什么？能对复合轮系进行速比计算。

### 十三. 机械运转及调速

什么是机器的等效量、等效动力学模型？求解等效量的原理是什么？

飞轮的作用是什么？它适用于哪种运转类型的机器？

什么是周期性运转机器的最大盈亏功？能根据给出的图形计算飞轮转动惯量。

#### 十四. 机械的平衡

什么是刚性转子的静平衡、动平衡？各需几个平衡面？平衡条件是什么？

能进行刚性转子的动平衡计算。

### 第一章 概论

#### 第一节 本课程的研究内容

什么是机器、机构？

机器的三特征：

- 1) 由一系列的运动单元体所组成。
- 2) 各运动单元体之间都具有确定的相对运动。
- 3) 能转换机械能或完成有用的机械功以代替或减轻人们的劳动。

具有以上 1、2 两个特征的实体称为机构。

构件——由一个或多个零件连接而成的运动单元体。

零件——机器中的制造单元体。

#### 第二节 机构的分析与综合及其方法

机构分析：对已知机构的结构和各种特性进行分析。

机构综合：根据工艺要求来确定机构的结构形式、尺寸参数及某些动力学参数。

机构综合的内容：1. 机构的结构综合 2. 机构的

尺度综合 3. 机构的动力学综合。

机构的结构综合：主要研究机构的组成规律。

机构的尺度综合（或运动学综合）：研究已知机构如何按给定的运动要求确定其尺寸参数。概括为四类：

(1) 刚体导引：当机构的原动件做简单运动时，要求刚体连续地变换其位置。

(2) 函数变换：使机构某从动件的运动参数为原动件运动参数的给定函数。

(3) 轨迹复演：使连杆上某点的轨迹能近似地与给定曲线复合。

(4) 瞬时运动量约束：按构件在某些特定位置时的运动量来设计机构的结构参数。

准点——符合预定条件的几个位置。

只要求几个位置处符合给定条件的机构综合方法称为准点法。

减小结构误差的途径是：合理确定准点的分布。可按契比谢夫零值公式配置准点。

第三节 学习本课的方法

1. 注意基本理论与基本方法之间的联系
2. 用工程观点学习理论与基本方法
3. 注意加强感性认识和实践性环节

## 第二章 机构的结构分析

### 第一节 概述

构成机构的基本要素——构件 运动副 运动链

运动副：两构件间直接接触且能产生某些相对运动的联接称为运动副。

约束---对构件间运动的限制。

运动副元素—运动副参加接触的部分。

平面机构中只有 级副和 级副。（为什么？）

低副---副元素为面接触（如移动副、转动副）；

高副----副元素为点（线）接触。

运动链---构件由运动副连接而成的系统。

机构—选定机架，给相应的原动件，其余构件作确定运动的运动链。

### 第二节 平面机构自由度

机构自由度——机构具有确定运动所必须的独立运动参数的数目。

高副提供一个约束，低副提供两个约束。

机构的自由度为： $F=3n - (2p_l + p_h)$ 。（各符号的意义）

机构具有确定运动的条件 1,  $F > 0$  ; 2,  $F = \text{原动件数}$ 。

( $F >$  原动件数、 $F <$  原动件数时会出现什么情况?)

主动件——机构中传入驱动力(矩)的构件。

原动件——运动规律已知的构件。其余的活动构件统称从动件。

输出构件——输出运动或动力的从动件

复合铰链——两个以上的构件构成的同轴线的转动副，其转动副个数等于构件数减 1。

局部自由度——与机构整体运动无关的自由度。

虚约束——对运动不起实际限制作用的约束。

### 第三节 机构的组成

$F=0$  的不可再拆分的最简单的运动链——基本杆组。

机构的组成原理——由若干基本杆组依次连接到原动件和机架上构成机构。

$n=2; p_l=3$ ，—— 级组。

$n=4; p_l=6$ ，且具有一个含三个低副的中心构件的基本组—— 级组。

$n=4; p_l=6$ ，不含三个低副的中心构件的基本组—— 级组。

机构的级别是以其中含有的杆组的最高级别确定的。

机构拆组的一般原则 1. 除掉虚约束和局部自由度，高副低代；2. 从远离原动件开始拆组，先 级后级；3. 杆与其上运动副一并拆下；4. 剩余部分必为一机构，最后为机架、原动件。

#### 第四节 平面机构的高副低代

高副低代——将机构中的高副用低副代替。

高副低代的替代条件：1，机构的自由度不变；2，机构的瞬时运动不变。

将高副 C 用具有两个铰链的构件代替，铰链的中心分别位于高副接触点的曲率中心处且与高副元素的所属构件相连。

机构在不同位置其低副替代机构也不同——高副低代的瞬时性。

### 第三章 平面机构的运动分析

#### 第一节 概述

#### 第二节 级机构的运动分析

运动分析的步骤：

建立机构的位置方程式；位置方程式对时间  $t$  求导一次、两次得速度方程式、加速度方程。

#### 一、铰链四杆机构的运动分析

将坐标逆时针方向旋转求构件的角速度、角加速度